

NRTW 2026

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 1^{er} & jeudi 2 avril 2026 | Grenoble

La fiabilité des composants opto-électroniques GaAs & InP : les données terrain et laboratoire parlent-elles d'une même voix ?

Lucas BERRIER & François LARUELLE

3SP Technologies
Source of Smart Solutions

Organisé par :



Financé par :





- 1. Introduction**
- 2. Quelques exemples field / lab data**
- 3. Les exceptions**
- 4. Développements Futurs**
- 5. Conclusion & Perspectives**



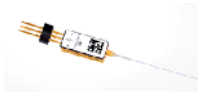
Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

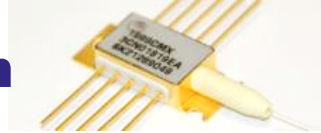
- 1. Introduction**
2. Quelques exemples field / lab data
3. Les exceptions
4. Développements Futurs
5. Conclusion & Perspectives

Les diodes lasers de 3SP dans les réseaux télécoms

3-pin



10-pin



14-pin



dual chip



quad chip...

Mini-pompes **980nm non refroidies** 3-pin. **GaAs**

1x ou 2x 100-350mW

TRX coherent DWDM qqs 100-1 000km

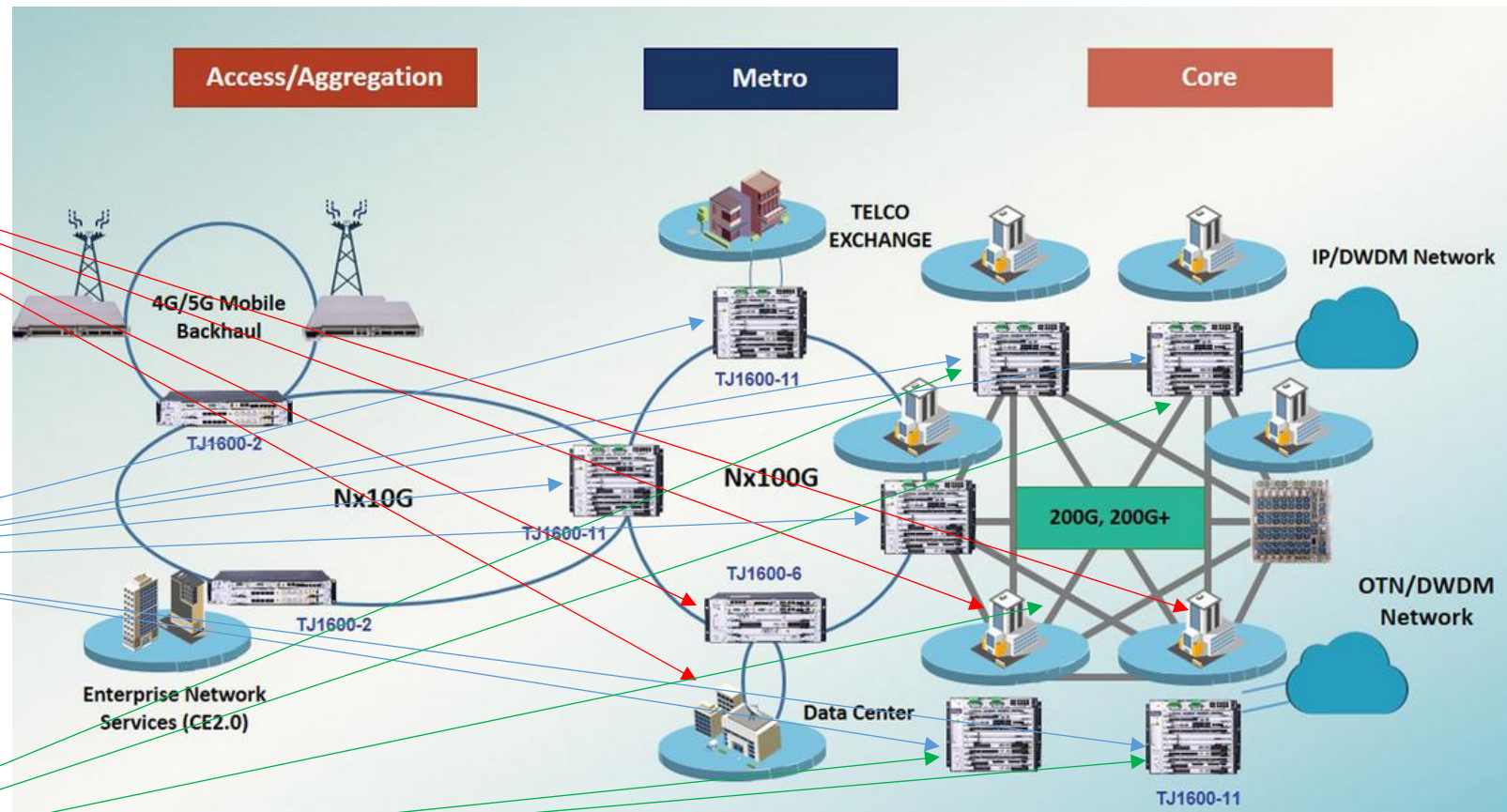
Pompes **980nm refroidies** 10-pin ou 14-pin 25° ou 40°C **GaAs**

1x ou 2x 350-1 000mW

Pompes **Raman 14xxnm**

Refrroidies 14-pin **InP**

1x ou 2x 400-700mW



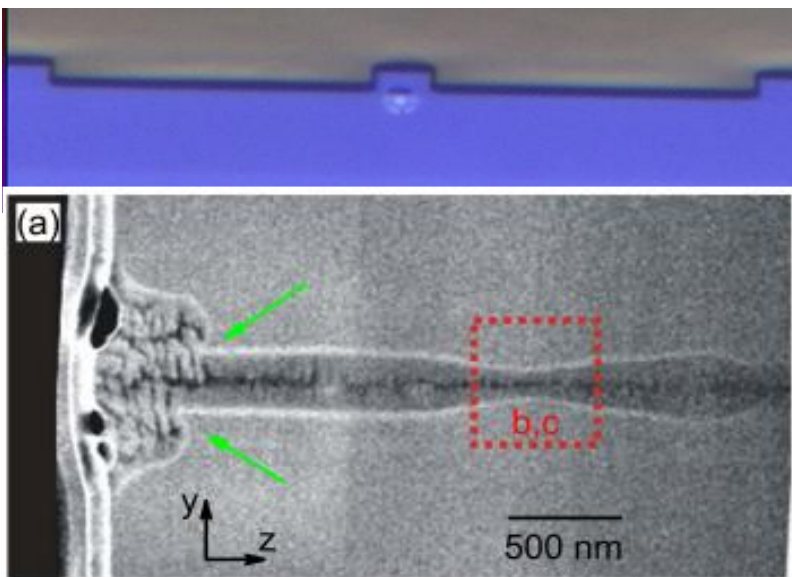
La répartition des diodes lasers déployées :

- **1,5M pompes 980nm GaAs // 61G h.comp**
 - **2/3 non-refroidies 100-300mW**
 - **1/10 refroidies < 450mW**
 - **1/5 refroidies < 750mW**
 - **1/30 refroidies > 800mW**
- **40k pompes 14xx nm Raman InP // 830M h.comp**
 - **1/6 400mW & 9/24 h.comp**
 - **2/3 500mW & 7/12 h.comp**
 - **1/6 600mW & 1/24 h.comp**

→ Dans notre marché, l'entrée en opération d'une diode laser intervient entre 6 et 12 mois suite à sa livraison!

COMD – diode laser

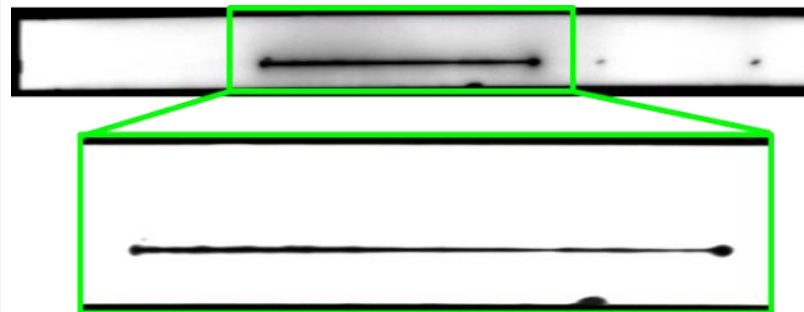
Catastrophic Optical Mirror Damage : mode de dégradation qui survient à la facette d'un laser à forte puissance optique et/ou haute température. Conséquence d'un emballement thermique local par une absorption optique importante (recombinaisons non radiatives)



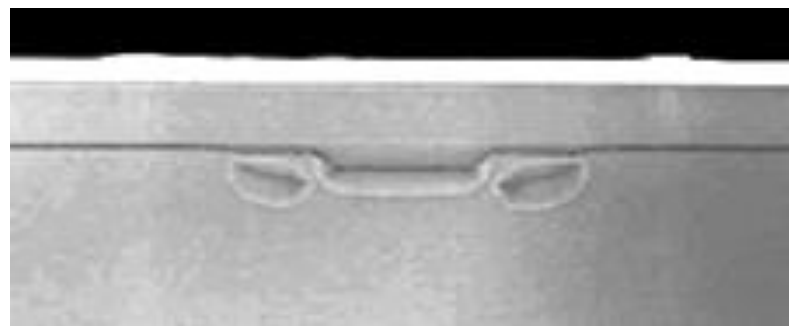
Transmission Electron Microscopy cross-section of a facet after COMD (M. Hempel Dipl.-Phys. Berlin 2013)

Bulk – diode laser

Défaillance soudaine, conséquence d'une formation de cluster de dislocations dans la cavité laser. Les recombinaisons non-radiatives dans ces clusters mènent à la fusion locale du semiconducteur.



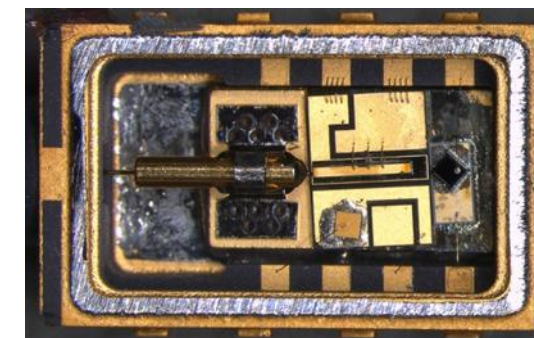
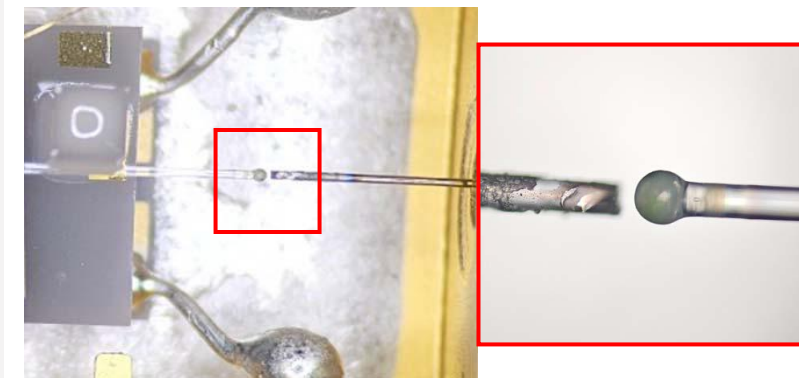
Cathodo-luminescence (CL)



TEM cross-section d'un défaut bulk de 2µm de large avec traces de re-solidification de zones fondues

Packaging

Allant de la fusion de la fibre en haut jusqu'à la perte de l'herméticité du boîtier en bas dégradant la diode laser!



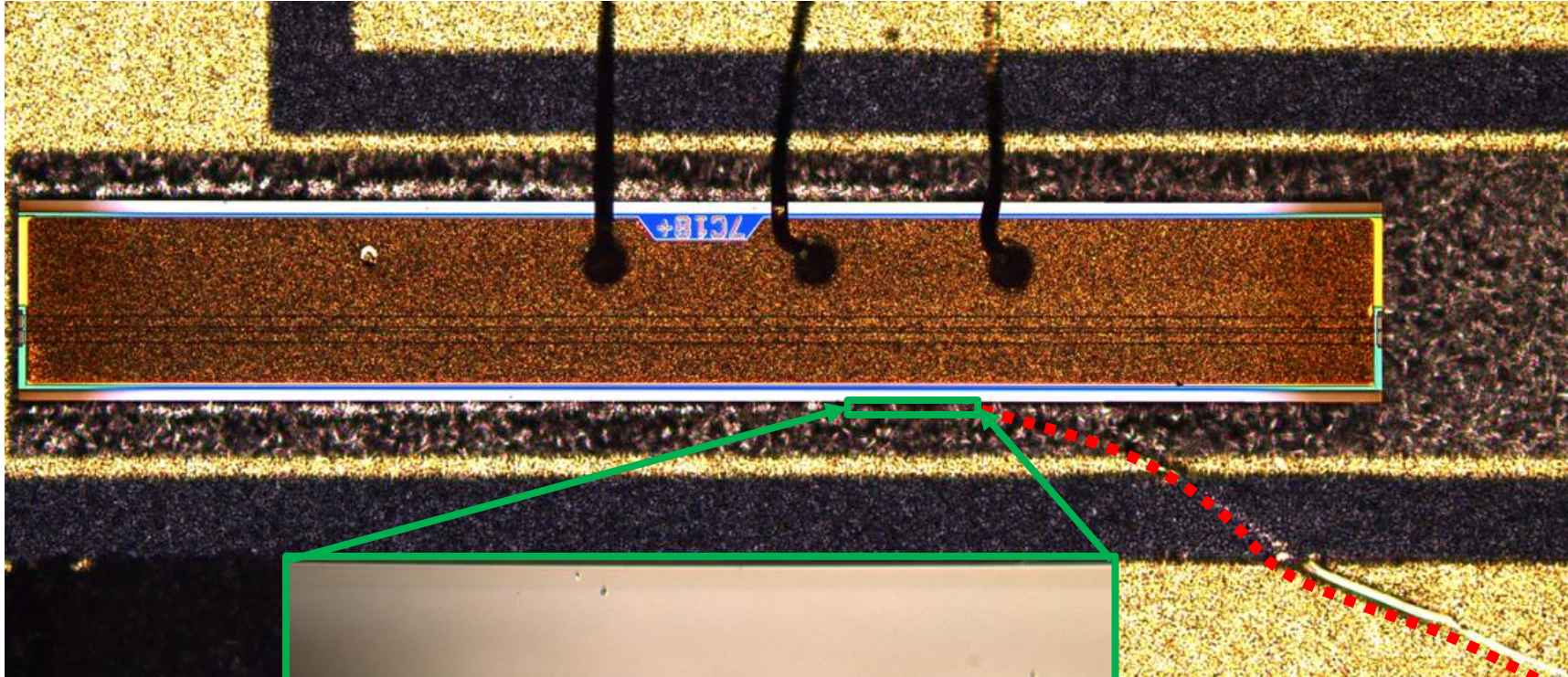
Le crible de l'analyse de défaillance : qui est responsable de quoi?



Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

**1^{er} cas : perte de puissance graduelle dans une pompe
980nm non-refroidie → inspection visuelle**



**Griffure visible
sur la tranche
de la puce**

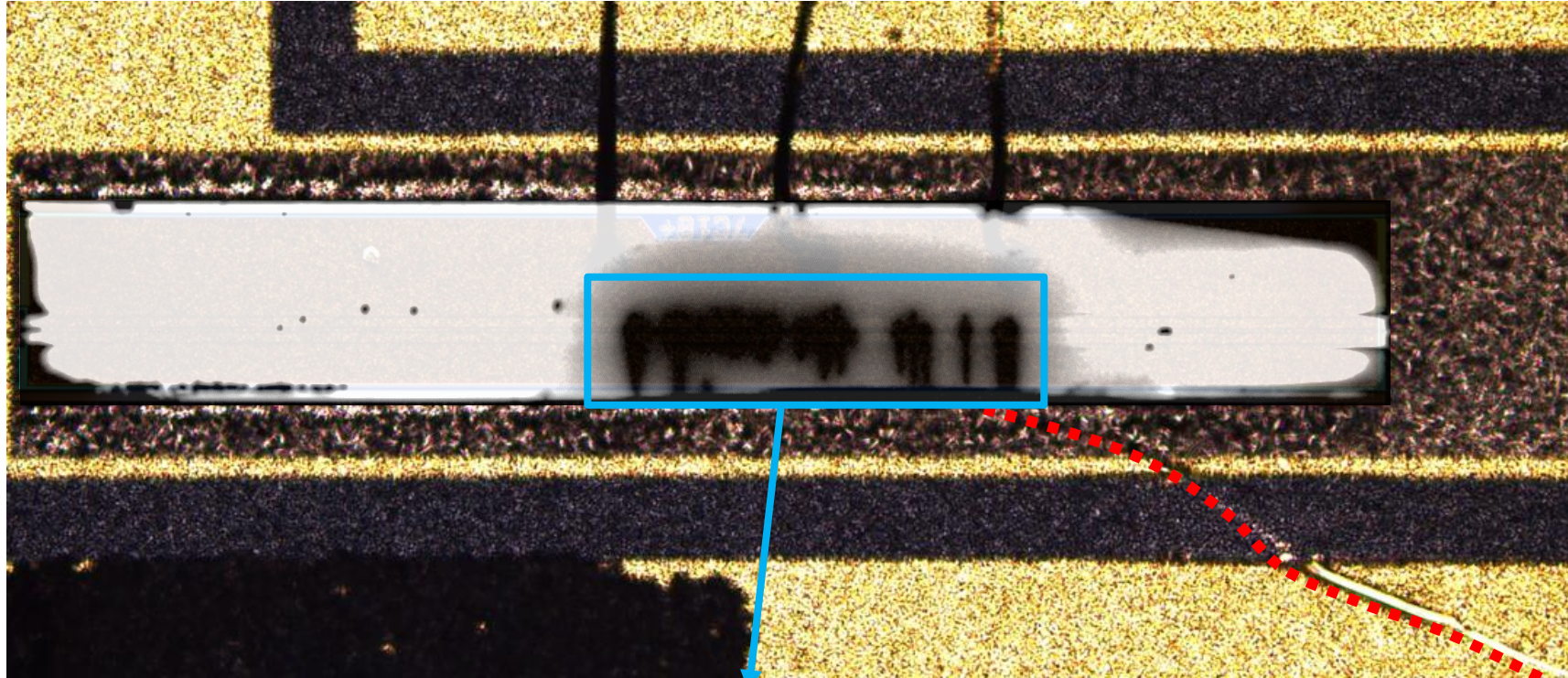
**Griffure d'un outil
sur l'embase allant
jusqu'à la puce**

Le crible de l'analyse de défaillance : qui est responsable de quoi?



3SP Technologies
Source of Smart Solutions

1^{er} cas : → analyse en micro-photoluminescence



Signature caractéristique d'une
agression mécanique (ligne
sombres transverses ou TDLs)

Griffure d'un outil
sur l'embase allant
jusqu'à la puce

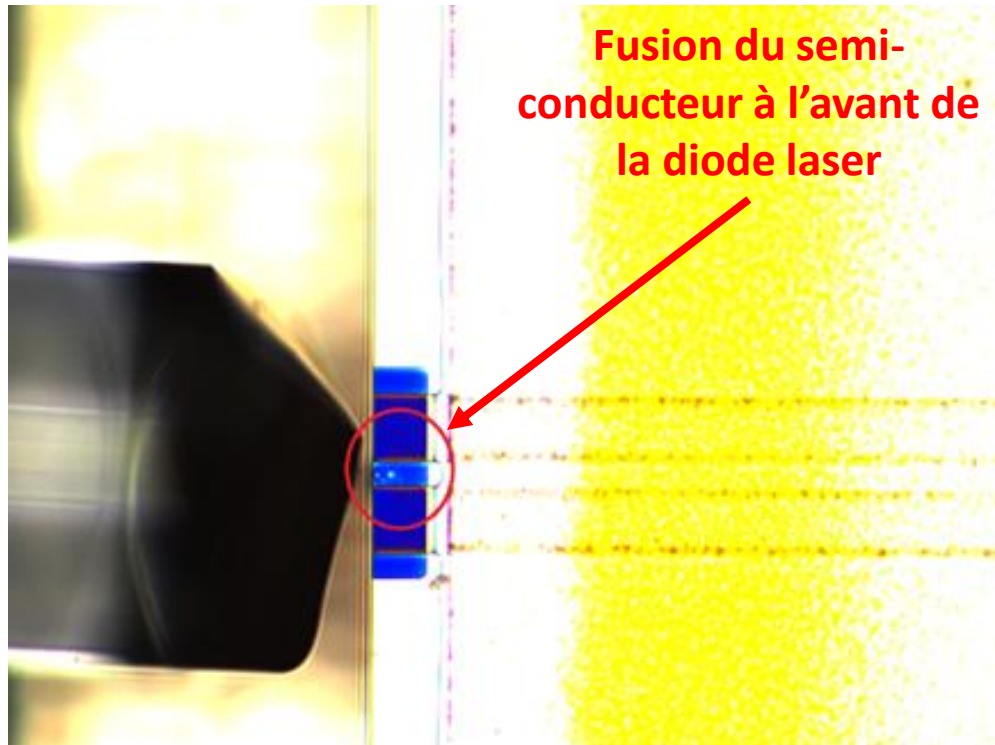
Le crible de l'analyse de défaillance : qui est responsable de quoi?



3SP Technologies
Source of Smart Solutions

2nd cas : perte de puissance catastrophique d'une pompe 980nm refroidie de très forte puissance → inspection visuelle

Vue de dessus



Vue de face après retrait de la fibre



Zéro défaut en pompe 14xx nm Raman InP → < 1,1FIT @ 60% UCL

Pompes 980nm : 11% des défaillances sont attribuées à l'utilisateur

dppm

2007-2025 : tous produits & tous modes de défaillance < 100 dppm

Field FIT

2007-2025 : les FIT croissent avec la puissance pour **15 FIT moyens**
2020-2025 : améliorations qualité
→ **taux de FIT moyen de 5 FIT**

Lab data vs Field

Modèles labo en $\lambda \sim I^n \exp(-E_a/k_B T_j)$
→ **Conservateurs d'un facteur 3 en moyenne (2 à 6) vs le retour d'expérience terrain.**
→ **Plus conservateurs sur les pompes refroidies où la température est bien définie!**

dppm /an	COMD FAV	COMD FAR	Bulk	Packaging	Tous
Non refroidies <250mW	na	0,8	18	1	20
Moyenne puissance < 450mW	9		28	1	38
Forte Puissance <750mW	4	0,4	86	2	92
Très forte puissance >800mW	20	1	59	5	85
Toutes	2	0,7	32	1,5	37

FIT @ 60% UCL	COMD FAV	COMD FAR	Bulk	Packaging	Tous	P moy.(mW)	Lab data	Lab vs Field
Non refroidies <250mW	na	0,4	8	0,6	9	165	17	2,0
Moyenne puissance < 450mW	2,9		9	0,5	12	360	77	6,4
Forte Puissance <750mW	1,6	0,3	35	0,9	37	600	88	2,4
Très forte puissance >800mW	12	1	34	3	49	850	217	4,4
Toutes	0,9	0,3	13	0,7	15	284	42	2,8



Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

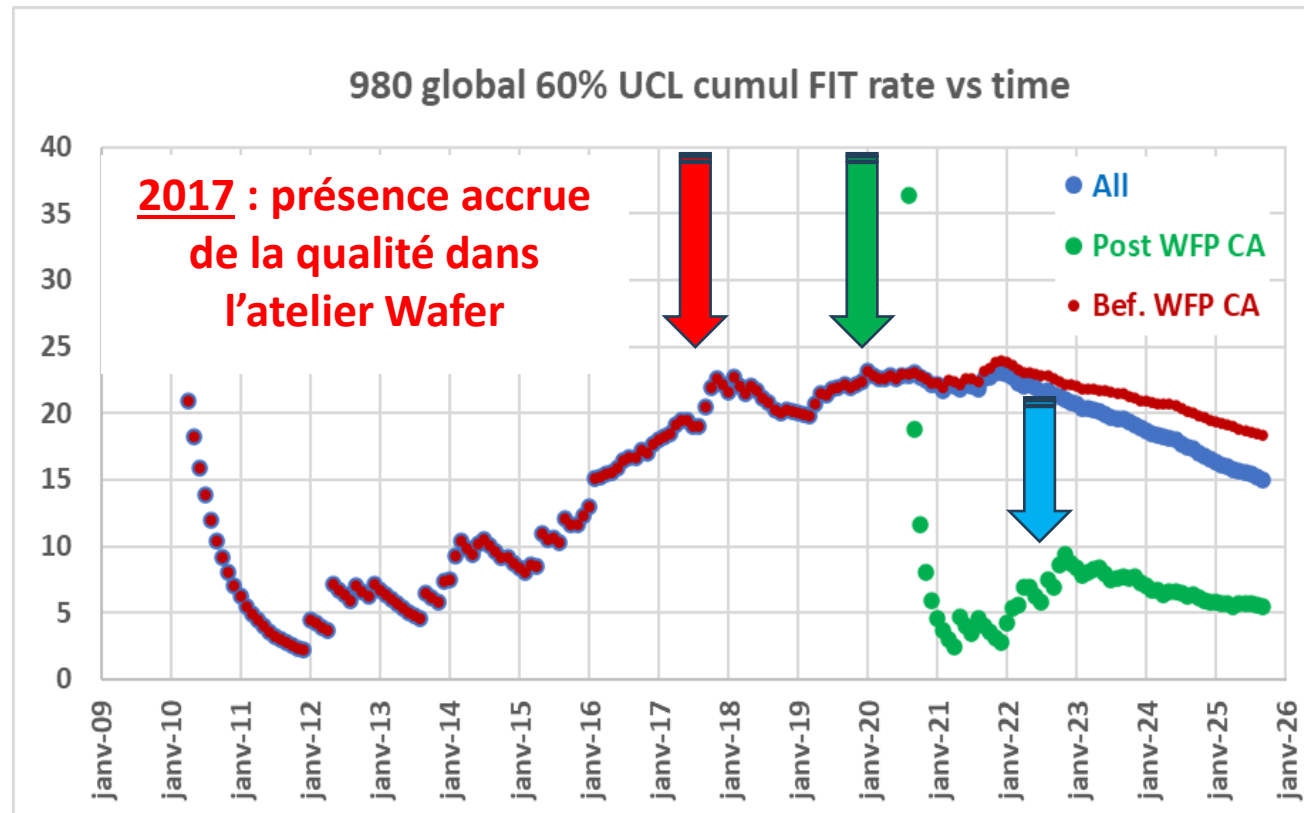
1. Introduction
- 2. Quelques exemples field / lab data**
3. Les exceptions
4. Développements Futurs
5. Conclusion & Perspectives

Données terrain toutes diodes laser 980nm confondues

- Les essais 'labo' internes ont prédit l'amélioration d'un facteur 3 en relatif constatée quelques années plus tard de 15 à 5 FIT !

2020 : 1^{er} lot d'actions correctives process wafer

2022 : 2^{ème} lot d'actions correctives process wafer

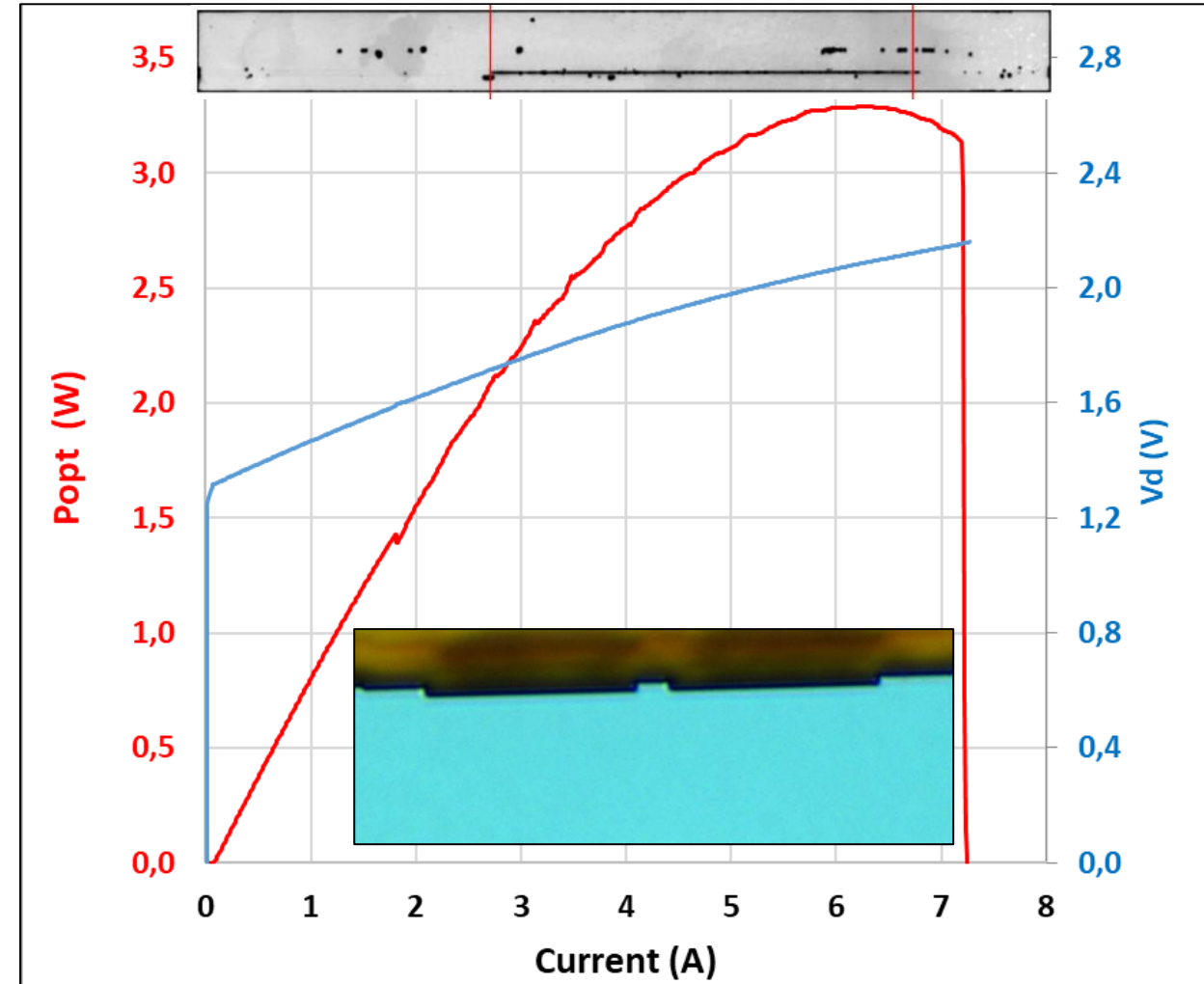




En 2020-21, amélioration du design et du procédé de passivation des facettes des diodes laser 980nm pour supporter plus de puissance en face avant.

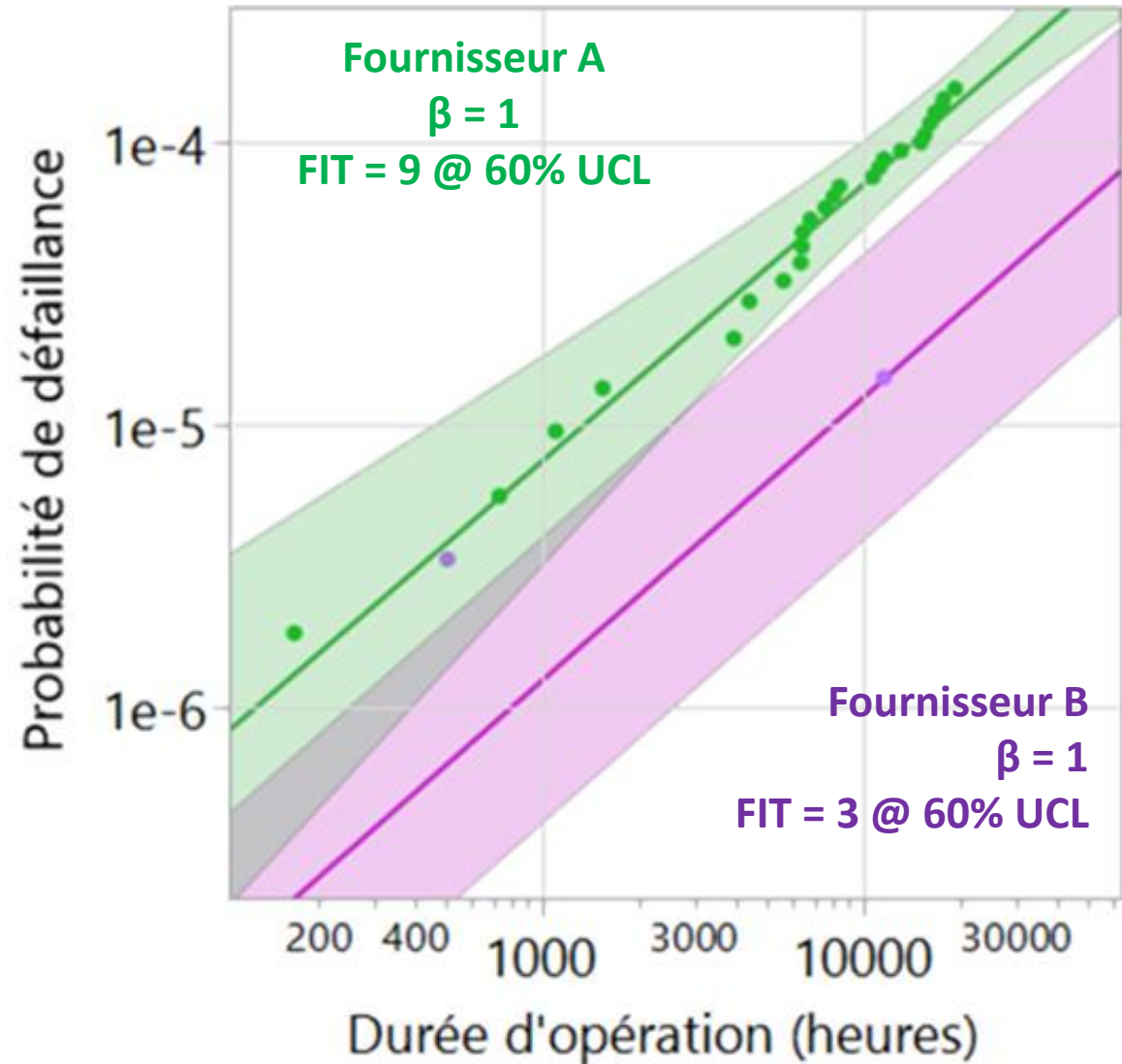
- Le courant de claquage (>7A) de diodes de 5,5mm dépasse le courant de saturation (3,3W @ 6A & 25°C)
- **Aucun COMD** ni FAV ni FAR! La dégradation est de type Bulk

→ **Aucun COMD** field depuis lors, confirmant la prédiction des essais internes de modélisation du COMD!



Deux fournisseurs A & B de substrats GaAs avec la même technologie de tirage des lingots (nominalement).

- **La qualité cristalline du fournisseur B est meilleure en contrôle d'entrée et en essais de validation (d'un **facteur 3** sur un déverminage / ageing comparatif de **2 754** diodes laser nues)**
- **Même gain sur les données terrain (350k pompes) sur le Weibull ci-contre.**
- **→ Essais 'labo' & données terrain en accord relatif.**



Quelques exemples field / lab data Wear-out / usure diodes lasers 14xx InP



3SP Technologies
Source of Smart Solutions

Diodes lasers InP → mode de défaillance de type usure / progression du courant de seuil / légère baisse de puissance. Zéro défaut terrain < 1,1FIT @ 60% UCL

Au cours des années d'amélioration des procédés (3 épitaxies en tout), les essais d'ageing montrent une stabilité remarquable du courant de seuil sur 12 000h de vieillissement accéléré → Essai labo TRES conservateur

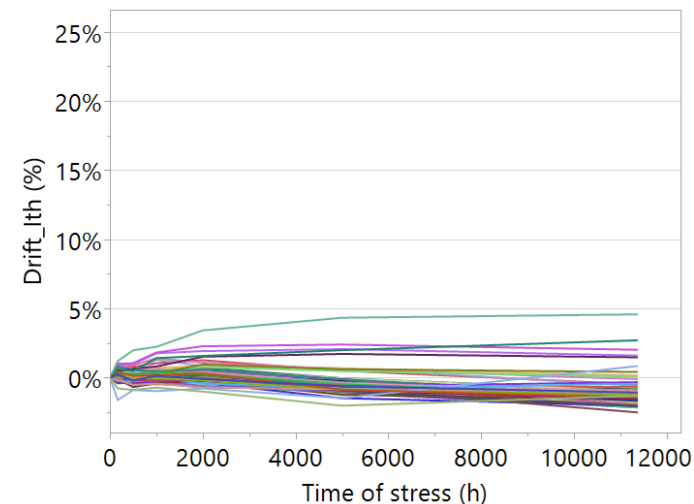
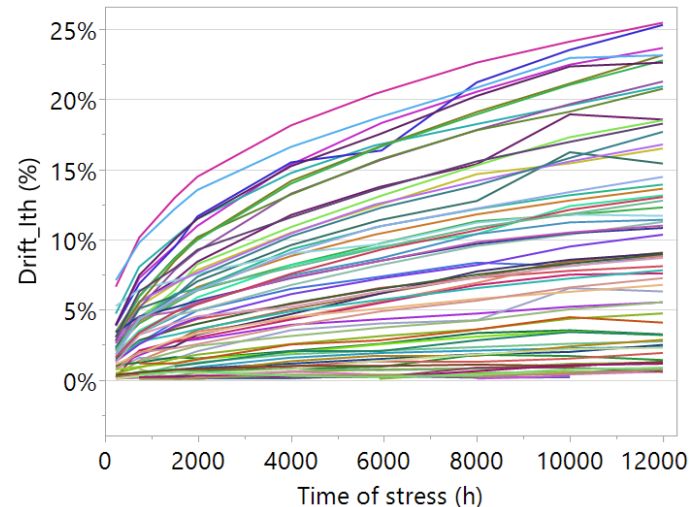
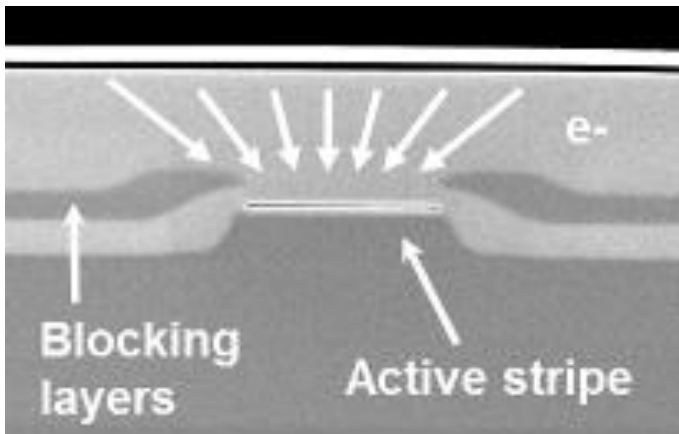
Coupe MEB laser 14xx

2010 // 113 FIT

2019 // <48 FIT

400mW 40°C

700mW 40°C





Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

1. Introduction
2. Quelques exemples field / lab data
- 3. Les exceptions**
4. Perspectives
5. Conclusion & Perspectives

Les exceptions : Plutôt l'exception... qui confirme la règle !



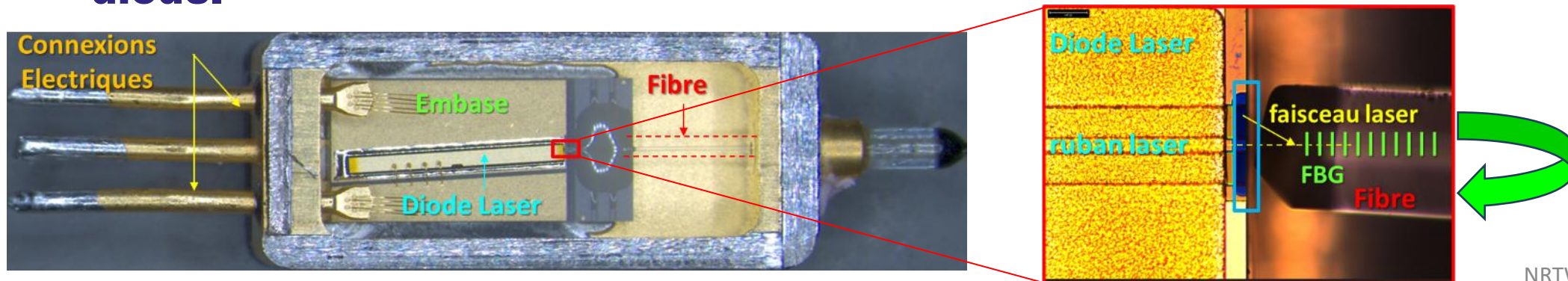
Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

Toutes les diodes lasers de puissance de 3SP sont stabilisées en longueur d'onde par un miroir sélectif en LO inscrit sous forme d'un réseau de Bragg (FBG) dans la fibre de sortie avec une réflectivité $2\% < R_{\text{FBG}} < 8\%$.

En quoi cette cavité laser externe perturbe-t-elle la fiabilité de la diode laser?

- La puissance réinjectée est modeste mais concentrée sur la FAV de la diode → Le **courant de claquage de la diode laser avec FBG (par COMD) est beaucoup plus faible** que celui de la diode laser libre.
- Reste la question de la dégradation 'Bulk' dans le volume de la diode.



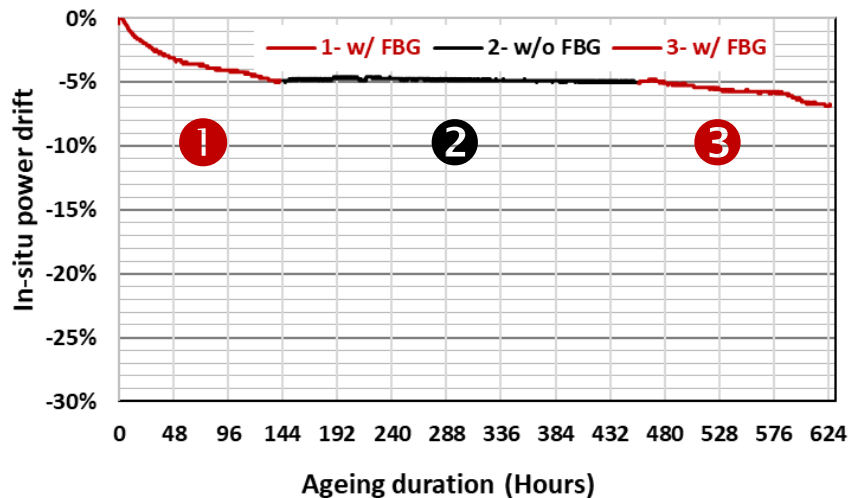
Les exceptions : Plutôt l'exception... qui confirme la règle !

Contexte : perte de puissance graduelle de pompes non-refroidies 980nm d'ancienne génération non détectée lors du déverminage des diodes lasers nues (i.e. sans FBG).

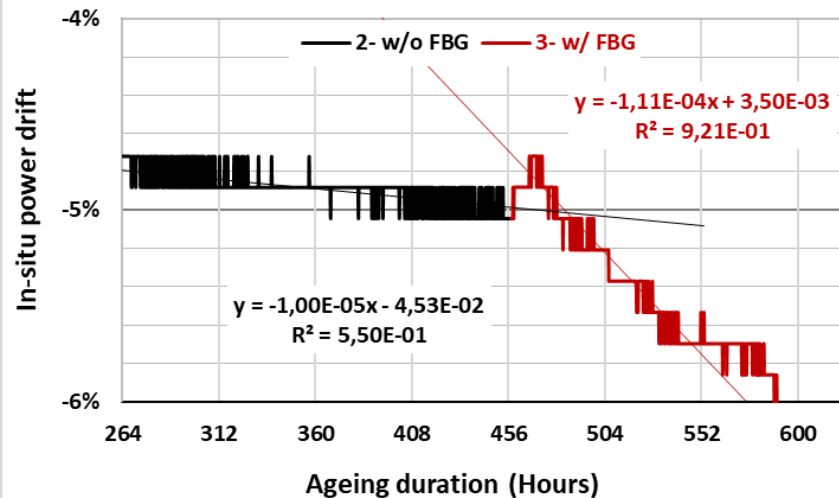
Ageing à 150 mA/30°C d'une pompe avec dérive de puissance initiée en 3 étapes → vitesse de dégradation réduite par 35 sans FBG!

- ❶ 144h avec FBG en mode normal stabilisé en LO : -5.0 % puissance
- ❷ 312 h sans FBG pour simuler le mode diode nue sans retour FBG : -0,3% puissance.
- ❸ 144h de nouveau avec FBG pour reprendre le mode stabilisé en LO : -2,0% puissance

630h ageing w/ &w/o FBG



630h ageing w/ &w/o FBG

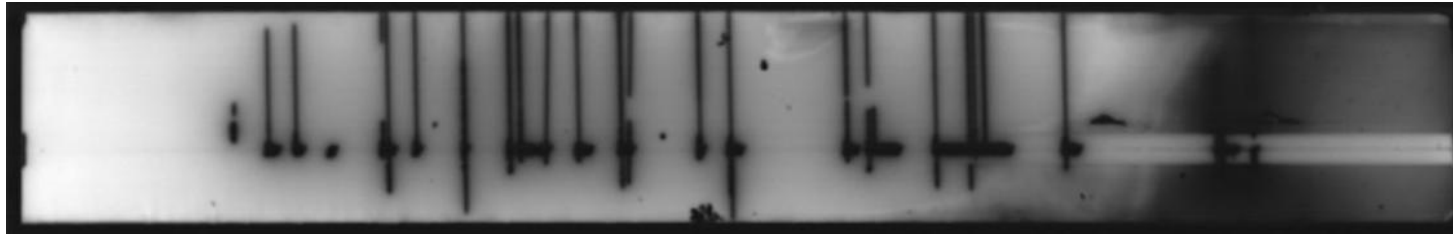


FBG	Ageing duration (h)	Power drift	Degr. Rate (/h)
with	144	5,0%	3,5E-04
without	312	0,3%	1,0E-05
with	174	2,0%	1,1E-04

● ● ●

Les exceptions : Plutôt l'exception... qui confirme la règle !

Le retour du FBG renvoie des photons qui activent la propagation des défauts mécaniques (par le mécanisme REDR très actif dans le GaAs mais pas dans l'InP)



- **Le déverminage des diodes lasers nues sans FBG est peu efficace pour éliminer ce type de défaut.**
- **Un déverminage complémentaire au niveau pompe avec FBG est souhaitable.**



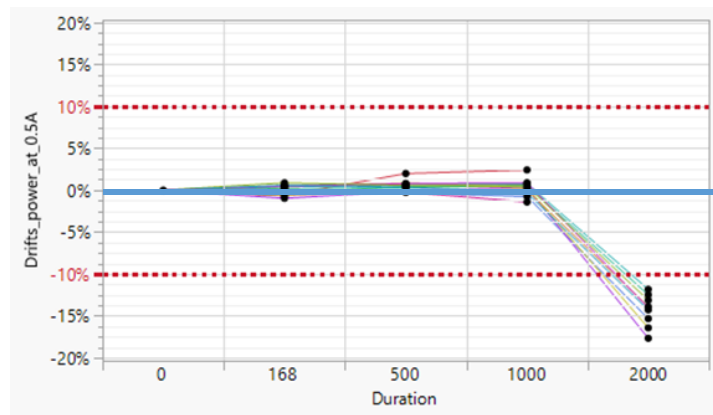
1. Introduction
2. Quelques exemples field / lab data
3. Les exceptions
- 4. Développements Futurs**
5. Conclusion & Perspectives



Les lasers DFB de forte puissance (100-400mW) en InP dans la bande 'O' (1270 - 1330nm) couplés à des circuits intégrés optiques de modulation connaissent un déploiement massif (> 10⁶ par mois) dans les data-centers.

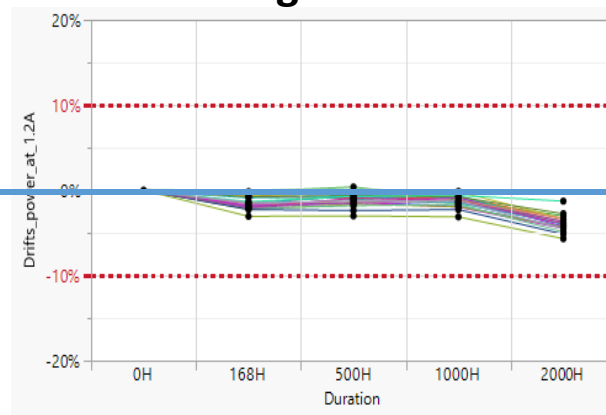
- Leur packaging n'est plus hermétique comme pour les lasers de pompe.
- Test de 2 000h à 85°C / 85%HR sous alimentation légèrement au-dessus du seuil → P/F: stabilité de la puissance à +/-10% mesurée à 1,2 A / 50°C
- Le traitement des facettes lasers R_{min}/R_{max} est déterminant.

Coating pour packaging hermétique



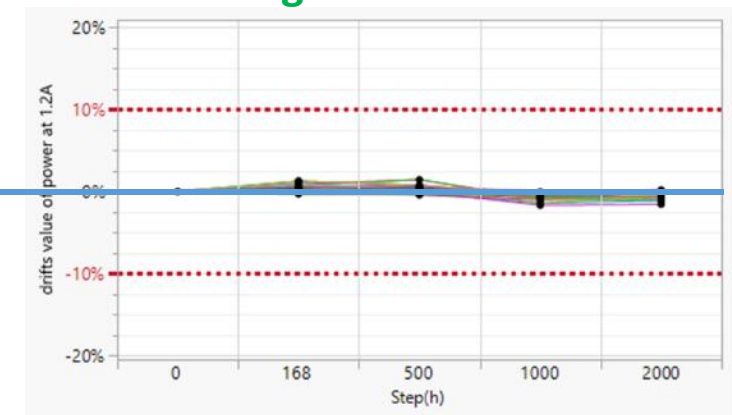
Coating pour packaging non-hermétique

1^{ère} génération



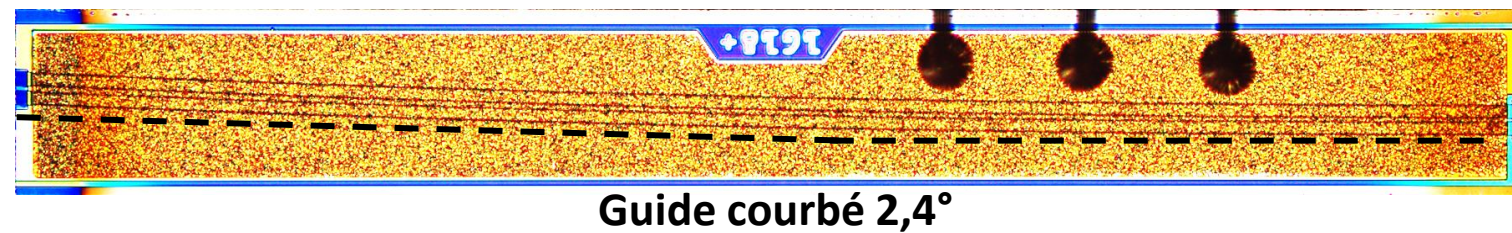
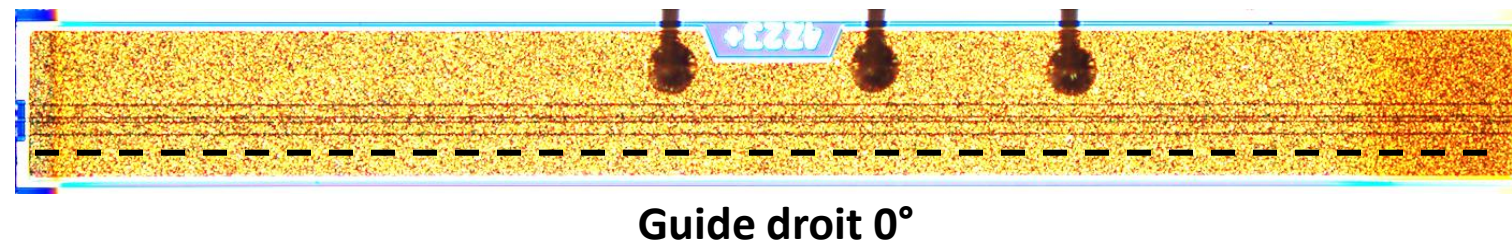
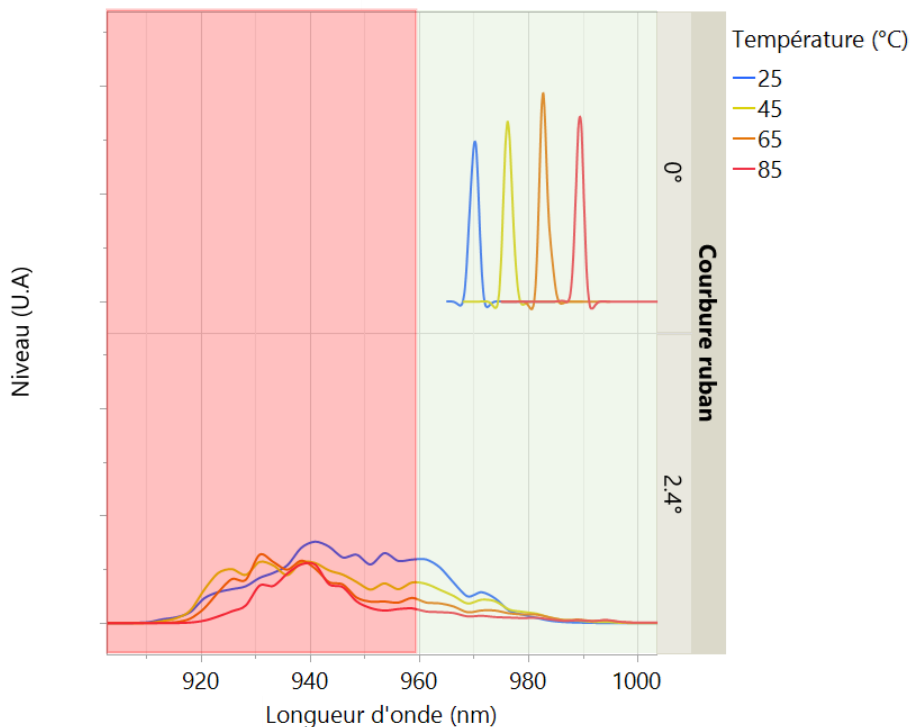
>>

2^{ème} génération



Pour une meilleure stabilité en puissance et en spectre, les mini-pompes 980nm non refroidies requièrent un changement de géométrie de la cavité d'un guide droit vers un guide courbe.

- **La cavité courbée produit une émission spectrale très large et continue avec beaucoup de photons très énergétiques susceptibles d'endommager la diode laser durant son déverminage à haute température qui doit être adapté en conséquence.**





Centre Français Fiabilité

3SPTechnologies
Source of Smart Solutions

1. Introduction
2. Quelques exemples field / lab data
3. Les exceptions
4. Développements Futurs
- 5. Conclusion & Perspectives**

Les **clefs du progrès** en fiabilité des diodes lasers de puissance

- Travail très **en amont avec la R&D** sur tous les nouveaux produits & **en aval avec la qualité** sur le suivi de fabrication.
- **FMA** systématique des essais internes et des retours terrain → **Base de données > 2 000 échantillons.**
- **Surveillance** statistique des retours terrain mode de défaillance par mode de défaillance → **Cinq modes de défaillance éradiqués.**
- **Modèles accélérés (lab data) conservateurs** par rapport au terrain.
- **En relatif, les améliorations de fiabilité 'labo' se constatent sur le terrain par la suite.**

La technologie des diodes lasers de forte puissance a réalisé des progrès marquant ces vingt dernières années.

- Les pompes Raman 14xx nm en InP sont un produit **ZERO DEFAUT** avec une fiabilité **< 1,1 FIT.**
- Les diodes lasers 980nm en GaAs ont à présent une fiabilité **< 5 FIT.**

Il reste un certain nombre de pistes pour que la fiabilité des diodes lasers 980nm en GaAs rejoigne celle des diodes en InP.

- **Sélection des meilleurs fournisseurs de substrats (FIT divisés par 3)**
- **Optimisation du design de la diode laser (FIT divisés par 2)**
- **Optimisation des procédés wafers (FIT divisés par 2)**
- **C'est d'autant plus important que le déploiement annuel des pompes 980nm & 14xx nm dans les interconnexions entre data-centers connaît une croissance exponentielle avec un **volume annuel quadruplé dans les 2 prochaines années!****

NRTW 2026

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 1^{er} & jeudi 2 avril 2026 | Grenoble

Merci pour votre écoute !

Organisé par :



Financé par :

